

海温异常对 2008 年 1 月中国气候异常影响的数值模拟

刘少锋 陈 红 林朝晖

中国科学院大气物理研究所国际气候与环境科学中心, 北京 100029

摘 要 利用中国科学院大气物理研究所陆气耦合模式 IAP9L_CoLM, 通过 4 组集合模拟试验, 分别考察了不同海域的海温异常对 2008 年 1 月中国南方极端气候异常的可能影响。数值模拟结果表明, 在 La Niña 事件(赤道中东太平洋海温负异常)和北大西洋海温正异常的作用下, 模式可以较好地再现出 2008 年 1 月我国降水异常和全国性温度偏低的现象, 以及相应的主要环流异常特征, 这说明上述两个海区的海温异常是导致我国南方低温、雨雪、冰冻灾害天气的重要原因。进一步分析可以发现, 赤道中东太平洋的负海温异常和北大西洋的正海温异常均有利于亚洲中高纬地区阻塞高压的加强, 从而使得东亚冬季风增强, 有利于强冷空气入侵到我国南方地区; 此外赤道中东太平洋的负海温异常还导致东亚沿海位势高度增加, 不利于冷空气向下游输送, 使得冷空气在我国南方地区堆积导致低温异常。模式结果比较还可发现, 相对于北大西洋海温异常而言, 赤道中东太平洋海温异常对 2008 年冬季中国气候异常的影响相对更大, 其他区域的海温异常也可对 2008 年 1 月中国的气候异常有一定的影响。

关键词 La Niña 事件 海温异常 冬季气候异常 数值模拟

文章编号 1006-9585 (2008) 04-0500-10 **中图分类号** P461 **文献标识码** A

Numerical Simulation of the Impact of Sea Surface Temperature Anomalies on the Climate Anomalies over China in January 2008

LIU Shao-Feng, CHEN Hong, and LIN Zhao-Hui

International Center for Climate and Environment Sciences, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract By using the atmosphere-land coupled model IAP9L_CoLM of the Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, the impact of sea surface temperature anomalies (SSTAs) in different ocean basins on the extreme climate events affecting Southern China during January 2008 has been investigated through four sets of ensemble numerical simulations. On condition of SSTAs in Tropical Pacific Ocean and North Atlantic Ocean, IAP9L_CoLM does show skills in reproducing the observed climate anomalies over China in January 2008 and their related circulation anomalies. This may indicate the important roles of the La Niña event and warm North Atlantic SSTA on the observed low temperature, rain and snow extreme climate event over Southern China. Further analysis shows that, the SSTAs over Tropical Pacific Ocean and North Atlantic Ocean are all favorable for the strengthening of block high in the Siberian and the East Asian winter monsoon. Meanwhile, the negative SSTAs over the Tropical Pacific Ocean can lead to the positive geopotential height anomalies over the coast area of East Asia, which may in hence result in the accumulating of the cold air mass over Southern China and the colder than normal temperature.

收稿日期 2008-04-11 收到, 2008-05-09 收到修定稿

资助项目 中国科学院大气物理研究所创新基金领域前沿重点项目 IAP07120、中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX3-SW-226 和国家自然科学基金资助项目 40575040

作者简介 刘少锋, 男, 1981 年出生, 博士, 主要从事气候模式发展及气候数值模拟方面的研究。E-mail: lsf@mail.iap.ac.cn

通讯作者 林朝晖, 研究员, E-mail: lzh@mail.iap.ac.cn

there. Comparison results also show that, the impact of La Niña event are generally more remarkable than the impact from SSTAs over Atlantic Ocean, and the SSTAs over other ocean basins might also exert certain influences on the anomalous climate of China in January 2008.

Key words La Niña event, sea surface temperature anomalies, winter climate anomaly, numerical simulation

1 引言

2008 年 1 月尤其是中下旬, 我国南方地区出现了 50 年一遇 (部分地区百年一遇) 的大范围持续低温、雨雪、冰冻天气, 这次极端天气事件给国家和人民的生命财产都造成了巨大的损失, 同时也引起了科学界的极大关注。相关研究表明, 我国南方地区地形地貌复杂, 且所处地理位置特殊, 冬季常有暖湿空气活动, 而强冷空气的南下也可以到达该地区, 因此冷暖空气活动的异常通常会造成该地区冬季气候的异常。我国冬季气候异常与海温、积雪等多种因素密切相关, 特别是

关于海温异常对东亚气候的影响已有诸多研究, 如赤道东太平洋和西太平洋暖池的海温异常 (SSTA) 对东亚季风气候的作用^[1~4]。关于东亚冬季风, 陶诗言等^[5]发现 La Niña 年亚洲上空的环流型有利于寒潮向南爆发, 并导致亚洲冬季风增强; 穆明权等^[6]亦指出 La Niña 冬半年东亚环流 500 hPa 位势高度为负距平, 海平面气压偏高, 气温偏低, 异常北风偏强, 其结果是有利于东亚冷空气向南爆发, 东亚冬季风增强。其他许多研究还表明, 热带太平洋以外其他海域, 如印度洋、南海、黑潮海域, 大西洋海温异常同样能对东亚季风气候产生重要影响^[7~16]。观测事实表明, 2007/2008 年冬季 (2007 年 11 月至 2008 年 2 月) 全球

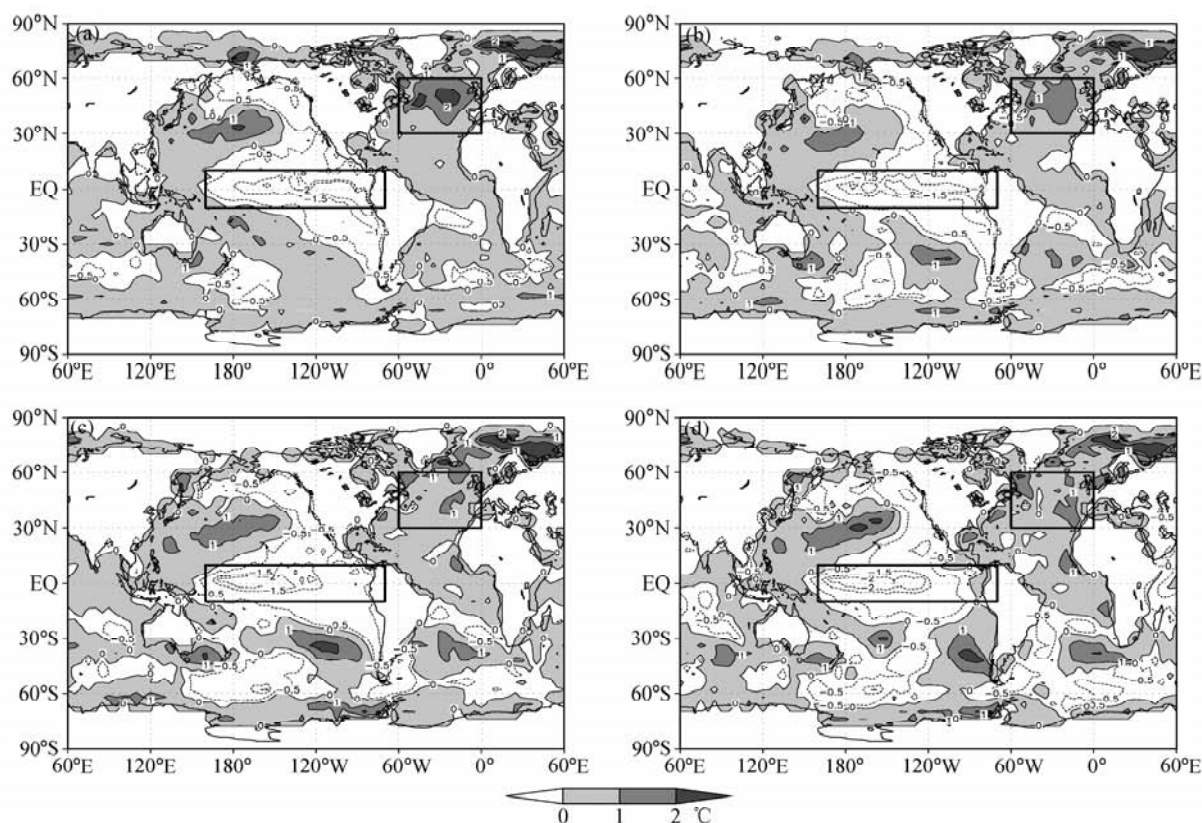


图1 2007 年 11 月~2008 年 2 月全球观测月平均海温异常分布: (a) 2007 年 11 月; (b) 2007 年 12 月; (c) 2008 年 1 月; (d) 2008 年 2 月

Fig. 1 Observed monthly mean sea surface temperature anomalies from Nov 2007 to Feb 2008: (a) Nov 2007; (b) Dec 2007; (c) Jan 2008; (d) Feb 2008

海温异常最显著的特征就是赤道中东太平洋地区持续的负海温异常（幅值可达 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上），以及北大西洋地区持续的正海温异常（中心强度也可达 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上）（图 1）。那么 2008 年 1 月我国的大范围持续雨雪冰冻天气所导致的气候异常是否和以上两个海区的 SSTA 有关？究竟哪个海区的影响作用相对较大？本文将试图利用中国科学院大气物理研究所（IAP）气候模式^[17]，通过数值模拟试验，考察全球不同海域的海温异常对 2008 年冬季（主要是 1 月）我国气候异常的影响及其差异。

2 模式及试验方案设计

本文使用的是中国科学院大气物理研究所陆气耦合模式 IAP9L_CoLM，该模式耦合了通用陆面过程模式 CoLM^[18] 和 IAP 9 层大气环流模式（IAP9L AGCM），其对全球及东亚气候的模拟能力已得到了较好的检验^[17]。IAP9L AGCM^[19~22] 是中国科学院大气物理研究所自行发展的全球格点大气环流模式，本文所用版本水平分辨率为 $5^{\circ}\times 4^{\circ}$ ，垂直为不等距的 9 层，包括对流层和低层平流层，模式顶为 10 hPa，水平变量分布采用 Arakawa-C 网格，垂直坐标采用 σ 坐标。经过长期的修改、发展和完善，IAP9L AGCM 已经具备较为完备的物理过程。

从图 1 中可以发现，全球不同海域均存在不同幅度的海温异常，尤其在赤道中东太平洋海区存在持续的海温异常偏冷的特征，同时在北大西洋区域存在着海温持续正异常区。为了考察不同海域海温异常对 2008 年中国冬季气候异常的影响，本研究设计了 4 组集合敏感性试验。其中敏感性试验 SSTA_P，代表该试验中仅考虑了热带太平洋区域（ $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ ， $160^{\circ}\text{E}\sim 70^{\circ}\text{W}$ ）海温异常影响；SSTA_NA 代表北大西洋（ $30\sim 60^{\circ}\text{N}$ ， $60^{\circ}\text{W}\sim 0^{\circ}$ ）海温异常的影响；SSTA_P+NA 代表同时考虑了热带太平洋和北大西洋海温异常的影响；而 SSTA_G 则是同时考虑了全球所有海域的海温异常的作用。上述 4 组敏感性试验的积分时段均为 2007 年 11 月至 2008 年 2 月，每组敏感性试验均有 10 个集合样本（对应 10 个不同的大气初值，这里大气初值为模式在气候海温驱动下长

期积分的不同年份 11 月 1 日的模式场）。在敏感性试验结果的分析中，采用 IAP9L_CoLM 的模式气候态作为对比，该模式气候态是在观测气候海温驱动下模式积分 50 年，并取后 30 年的平均结果而生成的。为方便起见，在文中将气候海温驱动下模式的数值积分试验称为控制试验。

此外，对每组敏感性试验均取 10 个集合样本的算术平均作为每组试验的集合模拟结果，月平均模拟结果减去控制试验中对应的模式气候态即得到敏感性试验模拟的月平均气候异常。本文试验中所用到的 SSTA 是美国国家海洋大气管理局（NOAA）的海温资料^[23]。用于检验的观测资料包括中国大陆 160 站点的月平均降水 and 气温资料，以及美国环境预报中心和国家大气研究中心（NCEP/NCAR）实时分析资料中的高度场和风场等。

3 数值试验结果分析

3.1 中国气候概况及环流背景

2008 年 1 月，全国大部分地区的平均降水量较常年同期偏多，东北地区异常偏少，而西北地区异常偏多（图 2a）。具体来说，与常年同期相比，东北和华北东部、内蒙古东部、新疆北部、西藏中部、重庆、贵州等地降水偏少 2~8 成，部分地区偏少 8 成以上；长江以北大部地区以及华南中南部、云南西部降水偏多 5 成至 2 倍，西北大部及云南西北部偏多 2 倍以上。

从图 2b 可以看到，包括西北大部和中东部地区在内的全国大部分地区的平均气温较常年同期异常偏低（图 2b）。具体来说，与常年同期相比，青藏高原、四川西部、云南、黑龙江北部等地区气温偏高 1~3 $^{\circ}\text{C}$ ，部分地区偏高达 3 $^{\circ}\text{C}$ 以上；西北大部以及中东部地区气温普遍较常年同期偏低 1~3 $^{\circ}\text{C}$ ，其中内蒙古西部、新疆、甘肃部分地区偏低达 3 $^{\circ}\text{C}$ 以上。

图 2c 给出了相应的 2008 年 1 月 500 hPa 高度场异常分布。从图中可以发现，2008 年 1 月北半球大气环流最明显的特征是：亚洲北部中高纬度区域（ $30\sim 100^{\circ}\text{E}$ ）及我国东部区域为正距平控制，鄂霍次克海及以北地区受高度场负距平区控制，从里海以东到中国西部也为负距平区控制，

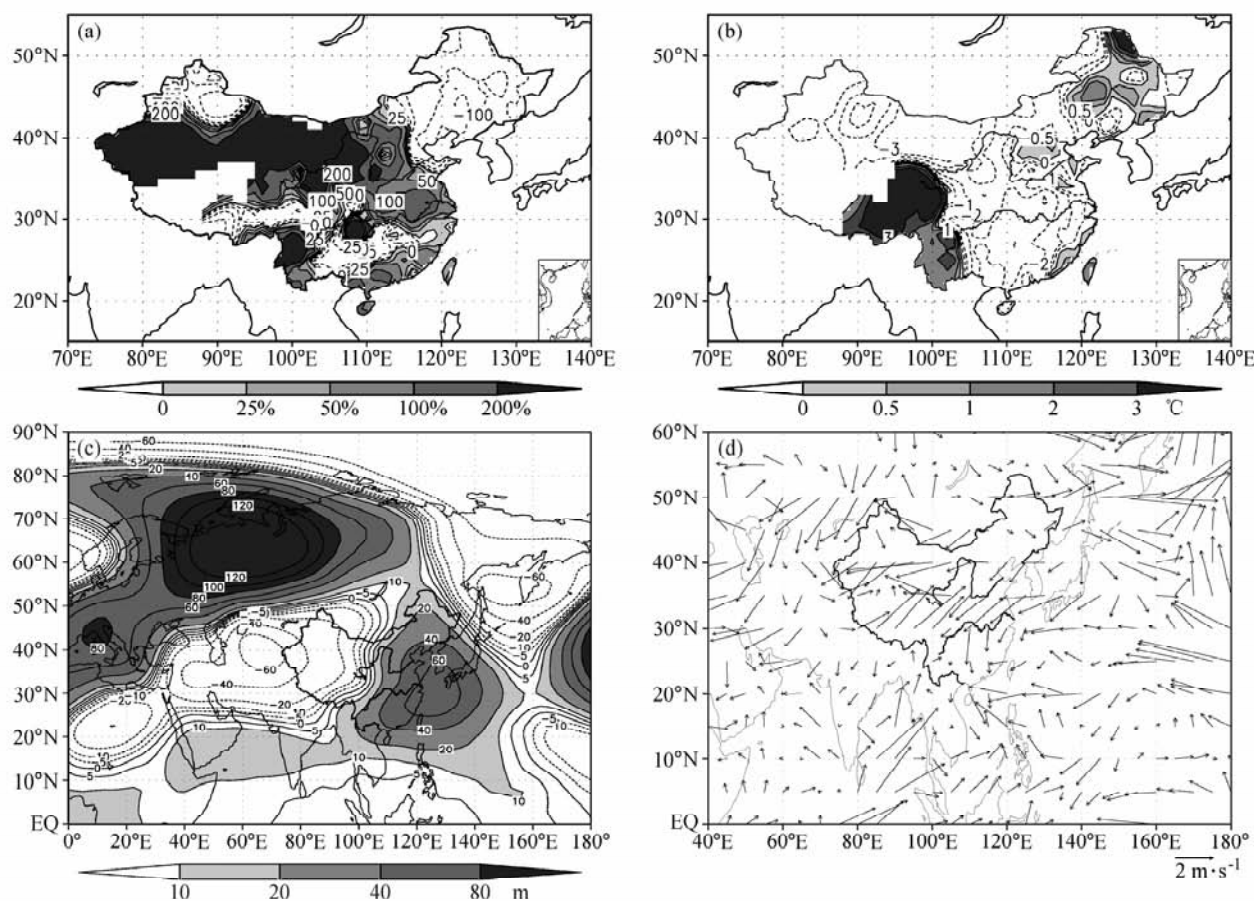


图 2 2008 年 1 月观测的中国地区气候异常及相应的环流异常: (a) 观测降水距平百分率; (b) 气温距平; (c) 500 hPa 位势高度场距平; (d) 1 000 hPa 风场距平

Fig. 2 Observed climate anomalies and its related circulation anomalies over China during Jan 2008: (a) percentage precipitation anomaly; (b) temperature anomaly; (c) 500 hPa geopotential height anomaly; (d) 1 000 hPa wind anomaly

说明在高原上空高空槽活动频繁。500 hPa 高度异常场在亚洲呈现出西低东高的特点, 这种大气环流异常模态有利于来自欧洲和北大西洋的冷环流系统进入中国并阻止它们传入太平洋。低层风场异常图(图 2d)表明东亚冬季风偏强, 有利于东部低温天气的发生, 此外孟加拉湾海区西南风距平较强, 表示该地区水汽的输送比常年偏强, 从而可为我国南方地区的降水提供更丰富的水汽条件。

3.2 赤道太平洋海温异常的影响

从 2007 年 11 月至 2008 年 2 月, 在赤道中东太平洋具有持续 1.5°C 以上的冷异常(图 1), 为典型的 La Niña 海温异常形势。图 3a 为 SSTA_P 的模拟结果。亦即考虑了热带中东太平洋海温异常影响的敏感性试验结果, 从图中可以发现,

IAP9L_CoLM 模式模拟的 2008 年 1 月中国降水异常的主要特征为中国东部降水异常偏多, 而中国西部降水异常偏少。与观测实况比较可知, 在 La Niña 型海温异常的驱动下, 模式较成功地模拟出了东北部和贵州等地的降水异常偏少, 以及云南西部、我国中东部地区和华北等地降水较常年同期偏多的分布特征; 但模式未能模拟出观测的西北地区大部 and 东北南部的降水异常分布特征。

对应于 La Niña 型海温异常的影响, 模式模拟的 2008 年 1 月平均气温在黑龙江北部以外的全国大部分地区均异常偏低(图 3b), 这种气温异常的分布与观测(图 2b)非常一致; 但模式未能模拟出青藏高原、四川西部和云南等地气温的异常偏高, 而且在大部分地区, 模式模拟的气温距平比观测都偏弱, 如在华南中部, 模式模拟的气

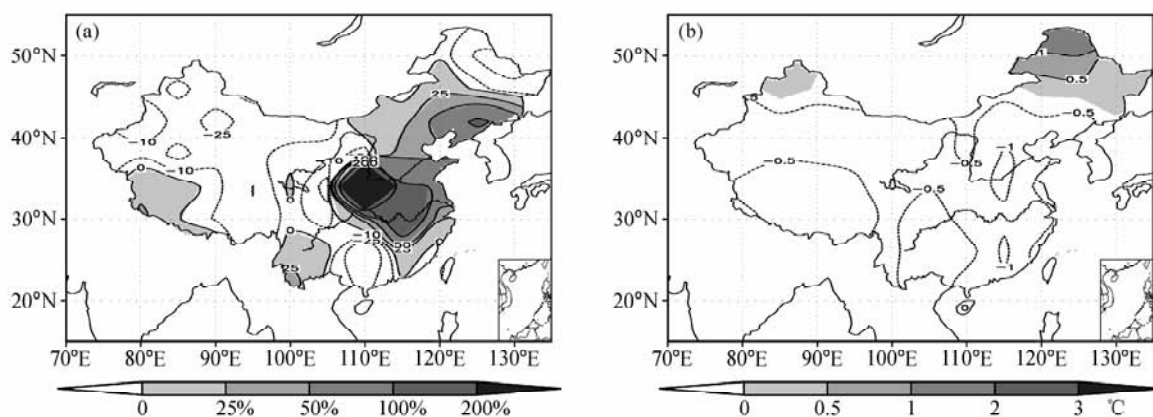


图3 SSTA_P 试验模拟得到的 2008 年 1 月中国气候异常: (a) 降水距平百分率; (b) 气温距平

Fig. 3 Simulated climate anomalies over China in Jan 2008 by the sensitivity experiment SSTA_P: (a) percentage precipitation anomaly; (b) temperature anomaly

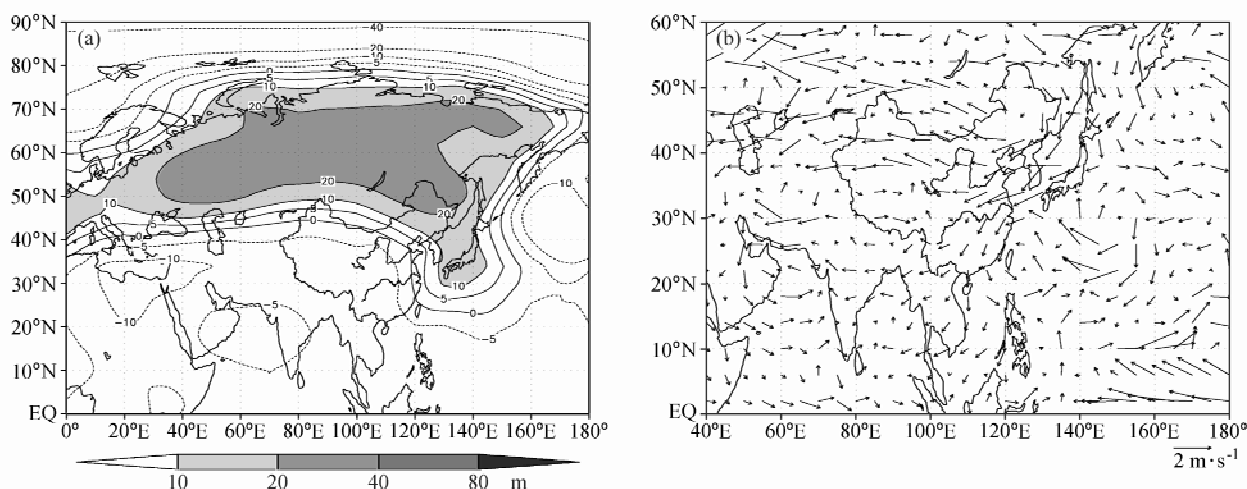


图4 SSTA_P 试验模拟得到的 2008 年 1 月大气环流的异常特征: (a) 北半球 500 hPa 高度场异常; (b) 1 000 hPa 风场异常

Fig. 4 Simulated general circulation anomalies in Jan 2008 by the sensitivity experiment SSTA_P: (a) 500 hPa geopotential height anomaly; (b) wind anomaly at 1 000 hPa

温比正常低 $0.5 \sim 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 而实际上该地区的气温比常年同期低 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。

图 4a 为模式模拟的 2008 年 1 月北半球 500 hPa 高度场的异常情况。从图上可以看到, 亚洲北部中高纬度 $30 \sim 100^{\circ}\text{E}$ 区域为正距平, 与 NCEP 再分析资料 (图 2c) 一致, 但位置略偏东, 表明赤道中东太平洋的负海温异常有利于亚洲中高纬地区阻塞高压的加强, 从而有利于强冷空气入侵到我国南方地区; 与 NCEP 再分析资料相似的是, 在中国东海、朝鲜半岛和日本南部附近为正的高度异常, 模拟的 500 hPa 高度异常场在亚洲也呈现出西低东高的特点, 这种大气环流异常

模态有利于来自欧洲和北大西洋的冷环流系统进入中国, 且不利于向下游输送, 使得冷空气在我国南方地区堆积形成低温。从低层风场异常的模拟图上 (图 4b) 可发现, 模式较好地模拟出了我国东部的偏北风距平, 表明 2007/2008 年冬季, 赤道中东太平洋的负海温异常有利于亚洲冬季风增强, 这与已有的诊断分析结果比较一致^[5]。

从以上的分析结果可以发现, 在考虑了 La Niña 的影响下, IAP9L_CoLM 模式对 2008 年 1 月我国降水异常以及全国性温度偏低有着一定的模拟能力; 同时, 模式还较好地模拟出 500 hPa 亚洲北部中高纬度 $30 \sim 100^{\circ}\text{E}$ 区域的正距平、500

hPa 高度异常场在亚洲的西低东高的特点以及偏强的东亚冬季风。这些都表明 2007/2008 年冬季热带中东太平洋异常偏冷的海温 (La Niña 事件) 确实对 2008 年 1 月中国的异常气候有着十分重要的影响作用。

3.3 北大西洋海温异常的影响

相对于热带中东太平洋海表温度持续偏低的异常, 在 2007/2008 年冬季北大西洋海域则存在着显著的持续性正海温异常 (见图 1), 因此本节将通过分析敏感性试验 SSTA_NA 的模拟结果, 考察前期北大西洋海温的异常偏暖对 2008 年 1 月我国气候异常的可能影响。图 5 给出了仅考虑北大西洋海域海温异常时模式所模拟的降水和气温异常, 从图中可以发现, IAP9L_CoLM 模式模拟的 2008 年 1 月中国降水呈现出东部异常偏多而西部异常偏少、北方异常偏多而南方异常偏少的特点 (图 5a)。模式模拟的长江以北我国东部地区降水较常年同期偏多, 江淮、江汉等地最高偏多 5 成以上, 与观测 (图 2a) 比较一致。但西北部、江南大部降水异常的模拟结果与观测差别较大。

模式模拟的 2008 年 1 月平均气温在黑龙江北部以外的全国大部分地区均异常偏低 (图 5b), 这种气温异常的分布与观测 (图 2b) 非常一致; 但是, 模式未能模拟出青藏高原、四川西部和云南等地气温的异常偏高, 在全国大部分地区, 模式模拟的气温异常也比观测偏弱。

图 6a 为模式模拟的 2008 年 1 月北半球 500 hPa 高度场的异常情况, 从图上可以看到, 亚洲

北部中高纬度区域为正距平, 但与 NCEP 再分析资料 (图 2c) 相比, 高度场正异常太过偏东; 在 40°N 以南, 模拟的 500 hPa 高度场从西到东具有弱的负异常, 与 NCEP 再分析资料西低东高的分布特点不同, 表明北大西洋的正海温异常可能有利于亚洲北部阻塞高压的加强和维持, 但对中低纬度的环流异常影响不大, 这与诊断结果比较一致^[24]。低层风场异常 (图 6b) 表明模式模拟的东亚冬季风也异常偏强。

总的来说, 在北大西洋持续性正海温异常的强迫下, IAP9L_CoLM 模式对 2008 年 1 月我国降水异常和全国性温度偏低的异常现象有一定的模拟能力, 同时, 模式对环流特征也有一定的再现能力, 表明北大西洋对 2008 年 1 月中国的异常气候也具有一定的作用。

3.4 赤道太平洋和北大西洋海温异常影响的比较

比较图 3a 和图 5a 可以发现, 赤道太平洋海温异常试验 (SSTA_P) 和北大西洋海温异常试验 (SSTA_NA) 模拟的降水具有一些类似的特点, 即西部异常偏少而东部异常偏多。但是 SSTA_NA 试验模拟的降水偏多范围明显比 SSTA_P 的小, 而且位置也明显偏北, SSTA_NA 试验没能模拟出江南降水偏多的观测事实, 这说明北大西洋海温异常可能更多的是对中高纬度的降水产生影响。在河套地区, SSTA_P 试验模拟的降水异常偏少, SSTA_NA 模拟的降水无疑更加符合观测。SSTA_P 和 SSTA_NA 两个试验都未能模拟出西北部降水异常偏多的情况, 但总的来看,

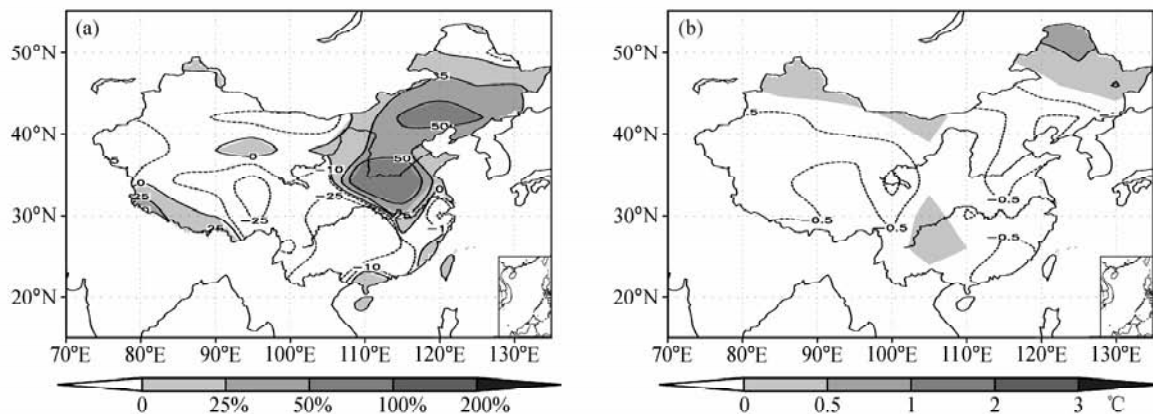


图 5 SSTA_NA 试验模拟得到的 2008 年 1 月中国气候异常: (a) 降水距平百分率; (b) 气温距平

Fig. 5 Simulated climate anomalies over China in Jan 2008 by the sensitivity experiment SSTA_NA: (a) percentage precipitation anomaly; (b) temperature anomaly

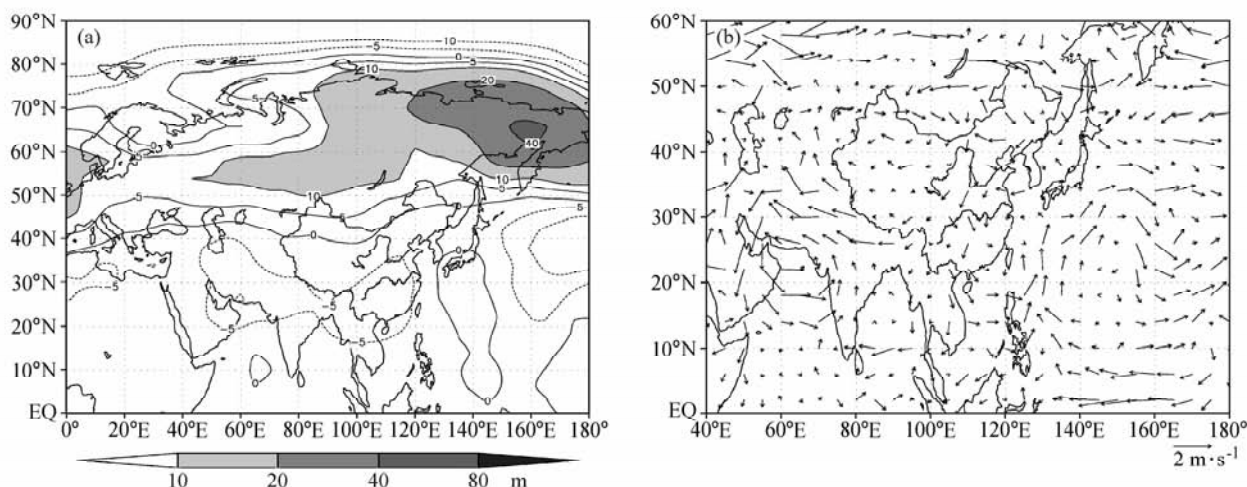


图 6 SSTA_NA 试验模拟得到的 2008 年 1 月大气环流的异常特征: (a) 北半球 500 hPa 高度场异常; (b) 1 000 hPa 风场异常

Fig. 6 Simulated circulation anomalies in Jan 2008 by the sensitivity experiment SSTA_NA: (a) 500 hPa geopotential height anomaly; (b) wind anomaly at 1 000 hPa

SSTA_P 试验模拟的降水比 SSTA_NA 的模拟结果更加接近观测。即总体上看, 赤道太平洋负海温异常试验比北大西洋正海温异常试验能更正确地模拟出 2008 年 1 月中国的降水异常分布。

SSTA_P 的气温分布 (图 3b) 和 SSTA_NA 的 (图 5b) 具有非常一致的特点, 即东北北部以外的全国大部分地区的气温比常年同期偏低, 同时这两个试验都未能模拟出青藏高原、四川西部和云南等地气温的异常偏高。几乎在所有观测的异常偏冷区 (图 2b), SSTA_P 和 SSTA_NA 的气温异常都比观测偏弱。但总的来看, SSTA_P 的气温更接近观测些。也就是说, 赤道太平洋负海温异常试验比北大西洋正海温异常试验更正确地模拟出 2008 年 1 月中国的气温异常分布。

以上比较说明, 热带太平洋、北大西洋海温异常信号确实对 2008 年 1 月中国的异常气候起作用, 但相对来说, 热带太平洋海温异常起的作用可能更大一些。

3.5 多个海域海温异常同时作用的影响分析

为了进一步深入比较不同海区海温异常对 2008 年 1 月中国气候的影响, 还进行了同时考虑赤道太平洋和北大西洋的海温异常试验 (SSTA_P+NA) 以及全球海温异常的试验 (SSTA_G)。图 7a 和 7b 分别为 SSTA_P+NA 和 SSTA_G 试验模拟得到的 2008 年 1 月中国降水异常分布, 而图 7c 则为 SSTA_P+NA 试验与 SSTA_P 试验模

拟得到的 1 月降水距平百分率的差值图。与图 3a 和 5a 比较可以发现, 4 组海温异常试验得到的降水都具有东部异常偏多而西部异常偏少的分布特征; 与观测相比, 总体说来模式对西部降水异常的模拟较差, 这说明西部内陆地区的降水异常可能更多地受到海温以外的其他因子的影响。此外, 敏感性试验 SSTA_P+NA 得到的降水异常 (图 7a) 并非是 SSTA_P (图 3a) 和 SSTA_NA 试验得到的降水 (图 5a) 的简单叠加结果, SSTA_P+NA 和 SSTA_P 试验模拟的降水差 (图 7c) 与 SSTA_NA 试验的模拟结果 (图 5a) 差别较大, 尤其是在江南地区以及河套东南部地区。这说明不同海域间的海温异常对大气环流异常的共同影响是非线性的。

图 7b 给出了考虑全球海温异常影响下模式模拟的 1 月中国气候的异常, 总体说来, SSTA_G 试验模拟的降水异常空间分布与仅考虑热带太平洋和北大西洋海温异常的结果较为接近, 但是在降水异常的幅值及细致分布上, SSTA_G 与 SSTA_P+NA 的结果也还有一定的差别, 这或许说明除赤道太平洋和北大西洋以外的其他区域的海温异常对 2008 年 1 月中国的降水也可能会有着一定的影响。

4 总结和讨论

本文针对 2008 年 1 月我国南方冰冻雨雪天气

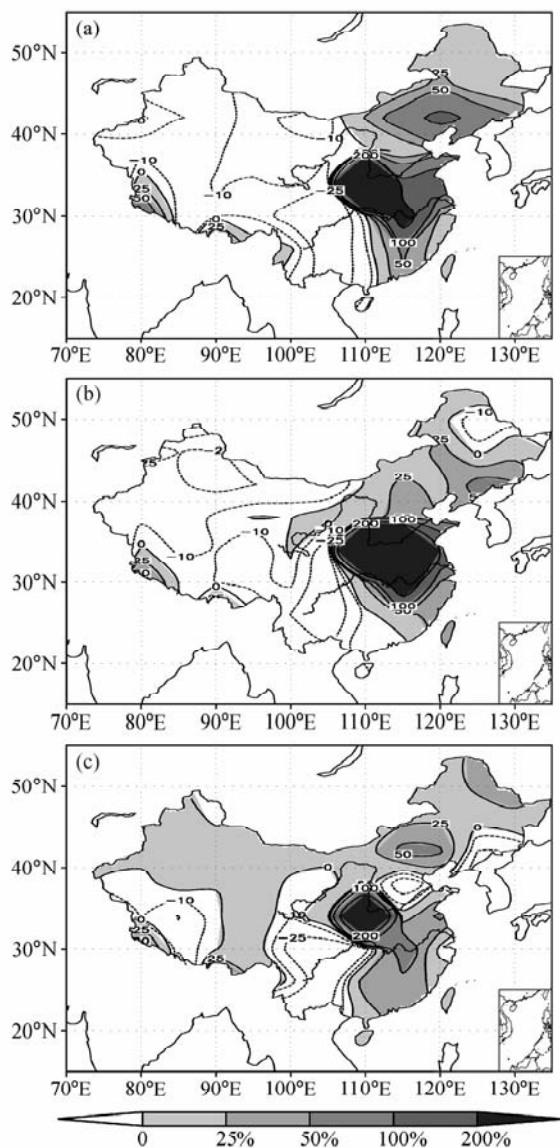


图 7 不同数值试验模拟的 2008 年 1 月中国地区降水距平百分率的空间分布: (a) SSTA_P+NA 试验; (b) SSTA_G 试验; (c) SSTA_P+NA 减去 SSTA_P

Fig. 7 Simulated percentage precipitation anomaly over China in Jan 2008: (a) SSTA_P+NA; (b) SSTA_G; (c) the difference between SSTA_P+NA and SSTA_P

的极端气候异常, 利用中国科学院大气物理研究所陆气耦合模式 IAP9L_CoLM, 通过 4 组集合模拟试验, 考察了全球不同海域海表温度异常对该极端气候异常的影响及其可能作用机制。数值模拟结果表明: 2008 年冬季赤道中东太平洋偏冷的海温异常 (La Niña 事件) 以及偏暖的北大西洋海温异常, 是导致 2008 年 1 月我国南方低温、雨雪、冰冻天气的主要原因, 但相对来说, La Niña

事件所起的作用相对更为显著。

进一步分析表明, 无论是对于 SSTA_P 试验 (考虑 La Niña 事件的影响), 抑或是 SSTA_NA 试验 (考虑偏暖的北大西洋海温异常的影响), 模式均可较好地模拟出观测的 2008 年 1 月我国东部降水异常的分布及全国性的冷异常分布。同时, 上述两组试验对 2008 年 1 月观测的不同环流异常特征也有一定的模拟能力, 如 SSTA_P 试验可以较好地模拟亚洲北部中高纬度 500 hPa 正的位势高度距平, 亚洲地区 500 hPa 高度异常场西低东高的分布特征, 以及偏强的东亚冬季风等; 而 SSTA_NA 试验则可较好地模拟出亚洲北部中高纬对流层中层的正位势高度距平, 以及对流层低层我国东部的偏北风距平, 虽然高度场正异常的位置与观测相比偏东。但总体说来, 赤道中东太平洋的负海温异常和北大西洋的正海温异常均有利于亚洲中高纬地区阻塞高压的加强, 亚洲冬季风增强, 导致强冷空气入侵到我国南方地区; 此外赤道中东太平洋的负海温异常还导致东亚沿海位势高度增加, 不利于冷空气向下游输送, 使得冷空气在我国南方地区堆积形成低温。

此外, 数值模拟试验结果还表明, 不同海域的海温异常对大气环流异常的影响是非线性的, 并不是简单的线性叠加; 考虑了全球海温异常的试验 (SSTA_G) 所模拟的降水异常的空间分布与仅考虑赤道太平洋和北大西洋海温异常影响 (SSTA_P+NA 试验) 的结果十分相似, 但在降水异常的幅值以及细致分布方面存在一定的差异, 这可能说明除赤道太平洋和北大西洋外, 其他海域的海温异常也可能对 2008 年 1 月中国的降水异常有影响。

值得指出的是, 本研究工作中的 4 组集合模拟试验均未能模拟出我国西部降水偏多的观测事实, 这说明西部内陆地区的降水异常可能受到海温以外的其他因子的影响, 如观测大气初值的影响^[25]等, 因为本研究工作中集合模拟试验的大气初值均取自模式气候值, 并没有考虑到实际观测的大气初值。此外, 本研究工作的结果是基于一个大气环流模式的集合模拟结果, 还有待用其他不同气候系统模式的模拟结果来加以验证。

参考文献 (References)

- [1] Keshavamurty R N. Response of the atmosphere to sea

- surface temperature anomalies over the equatorial Pacific and the teleconnections of the Southern Oscillation. *J. Atmos. Sci.*, 1982, **39**: 1241~1259
- [2] 杨芳林, 袁重光. 夏季赤道东太平洋海温异常对全球及东亚短期气候变化影响的数值试验. *大气科学*, 1995, **19** (5): 535~544
Yang Fanglin, Yuan Chongguang. Numerical experiment on the influence of sea-surface temperature anomalies in the Eastern Equatorial Pacific in Summer upon the short-range climate changes over globe and in East Asia. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1995, **19** (5): 535~544
- [3] 李崇银. El Niño 事件与中国东部气温异常. *热带气象学报*, 1989, **5** (3): 210~219
Li Chongyin. El Niño event and the temperature anomalies in Eastern China. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 1989, **5** (3): 210~219
- [4] 黄荣辉, 孙凤英. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响. *大气科学*, 1994, **18** (2): 141~151
Huang Ronghui, Sun Fengying. Impacts of the thermal state and the convective activities in the Tropical Western Warm Pool on the Summer climate anomalies in East Asia. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1994, **18** (2): 141~151
- [5] 陶诗言, 张庆云. 亚洲冬夏季风对 ENSO 事件的响应. *大气科学*, 1998, **22** (4): 399~407
Tao Shiyan, Zhang Qingyun. Response of the Asian winter and summer monsoon to ENSO events. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1998, **22** (4): 399~407
- [6] 穆明权, 李崇银. 东亚冬季风年际变化的 ENSO 信息 I: 观察资料分析. *大气科学*, 1999, **23** (3): 276~285
Mu Mingquan, Li Chongyin. ENSO signals in the interannual variability of East-Asian winter monsoon. Part I: Observed data analyses. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1999, **23** (3): 276~285
- [7] 李崇银, 穆明权. 赤道印度洋海温偶极子型振荡及其气候影响. *大气科学*, 2001, **25** (4): 433~443
Li Chongyin, Mu Mingquan. The dipole in the Equatorial Indian Ocean and its impacts on climate. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 2001, **25** (4): 433~443
- [8] 罗绍华, 金祖辉, 陈烈庭. 印度洋和南海海温与长江中下游夏季降水的相关分析. *大气科学*, 1985, **9** (3): 314~320
Luo Shaohua, Jin Zuhui, Chen Lieting. The analysis of correlation between sea surface temperature in the Indian South-China Sea and precipitation in the middle and lower reaches of the Changjiang River. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1985, **9** (3): 314~320
- [9] 陈烈庭. 热带印度洋—太平洋海温纬向异常及其对夏季风的影响. *大气科学*, 1988, **12** (特刊): 142~148
Chen Lieting. Zonal anomaly of sea surface temperature in the tropical Indo-Pacific Ocean and its effect on summer Asia monsoon. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1988, **12** (特别): 142~148
- [10] 闵锦忠, 孙照渤, 曾刚. 南海和印度洋海温异常对东亚大气环流及降水的影响. *南京气象学院学报*, 2000, **23** (4): 542~548
Min Jinzhong, Sun Zhaobo, Zeng Gang. Effect of south China sea and Indian ocean SSTA on East Asian circulation and precipitation. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2000, **23** (4): 542~548
- [11] 金祖辉, 罗绍华. 长江中下游梅雨期旱涝与南海海温异常关系的初步分析. *气象学报*, 1986, **44** (3): 368~372
Jin Zhuhui, Luo Shaohua. On the relationship between rainfall anomaly in middle and lower Yangtze Valley during the Mei-Yu season and the anomaly of sea-surface temperature in South China Sea. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1986, **44** (3): 368~372
- [12] 张琼, 刘平, 吴国雄. 印度洋和南海海温与长江中下游旱涝. *大气科学*, 2003, **27** (6): 992~1006
Zhang Qiong, Liu Ping, Wu Guoxiong. The Relationship between the flood and drought over the Lower Reach of the Yangtze River Valley and the SST over the Indian Ocean and the South China Sea. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 2003, **27** (6): 992~1006
- [13] 赵永平, Mcbean G A. 黑潮海域海温异常加热与北太平洋大气环流的相互作用. *海洋与湖沼*, 1995, **26** (4): 383~388
Zhao Yongping, Mcbean G A. Air-Sea interaction between the Kuroshio region marine heating anomaly and Northern Hemisphere atmospheric circulation. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (in Chinese), 1995, **26** (4): 383~388
- [14] 李永康. 黑潮海温与我国汛期降水及东亚高度流场的统计分析. *气象科学*, 1989, **9** (3): 263~275
Li Yongkang. The influence of SST at Kuroshio on precipitation in China during rainy season and relationship between SST and main circulation over the East Asia. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1989, **9** (3): 263~275
- [15] 王黎娟, 何金海, 徐海明. 黑潮地区海温影响南海夏季风爆发日期的数值试验. *南京气象学院学报*, 2000, **23** (2): 211~218
Wang Lijuan, He jinhai, Xu Haiming. Influence of SSTA over Kuroshio on SCS summer monsoon onset and WPSH with its numerical experiment. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2000, **23** (2): 211~218
- [16] 卢瑞宇. Impact of Atlantic sea surface temperature on the warmest global surface air temperature of 1998. *J. Geophys. Res.*, 2005, **110**, D05103, doi: 10. 1029/2004JD005203

- [17] 刘少锋. IAP 大气-陆面-植被耦合模式的建立及陆气耦合强度的定量评估. 中国科学院大气物理研究所博士论文, 2007
- Liu Shaofeng. The development of IAP coupled atmosphere-land-vegetation model and its application to the assessment of land-atmosphere coupling strength. Ph.D. dissertation (in Chinese), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 2007
- [18] Dai Yongjiu, Zeng Xubin, Dickinson RE, et al. The Common Land Model (CLM). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2003, **84** (8): 1013~1023
- [19] Zeng Qingcun. IAP AGCM and its application to the climate studies. In: *Climate Change, Dynamics, and Modeling, the 3rd International Summer Colloquium of LASG*, Zeng Qingcun, et al., Eds. Beijing: China Meteorological Press, 1990. 225~256
- [20] 曾庆存, 张邦林. 论大气环流的季节划分和季节突变 I: 概念和方法. *大气科学*, 1992, **16**: 641~648
- Zeng Qingcun, Zhang Banglin. On the seasons of atmospheric general circulation and their abrupt changes. I: General concept and method. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1992, **16**: 641~648
- [21] Zhang Xuehong. Dynamical framework of IAP nine-level Atmospheric General Circulation Model. *Advances in Atmospheric Sciences*, 1990, **7** (1): 66~77
- [22] 毕训强. IAP 九层大气环流模式及气候数值模拟. 中国科学院大气物理研究所博士论文, 1993
- Bi Xunqiang. IAP 9-level atmospheric general circulation model and climate simulation. Ph.D. dissertation (in Chinese), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 1993
- [23] Reynolds R W, Rayner N A, Smith T M, et al. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *J. Climate*, 2002, **15**: 1609~1625
- [24] 常蕊, 张庆云, 彭京备. 中国南方多雪年环流特征及对关键区海温的响应. *气候与环境研究*, 2008, **13** (4): 468~477
- Chang Rui, Zhang Qingyun, Peng Jingbei. Response of the atmospheric circulation with heavy snow over Southern China to the sea surface temperature anomaly in the key areas. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2008, **13** (4): 468~477
- [25] Wang Huijun, Taroh Matsuno, Yoshio Kurihara. Ensemble Hindcast experiments for the flood period over China in 1998 by the use of CCSR/NIES atmospheric general circulation model. *J. Meteor. Soc. Japan*, 2000, **78** (4): 357~365